

# MODELES DE DEGRADATION DES CHAUSSEES MAROCAINES

**Rachid TABBOUCHY**

Chef du service auscultation des chaussées au CNER

## **INTRODUCTION :**

Dans la présente étude, nous visons à développer des modèles de dégradation des chaussées, pour caractériser les processus d'évolution des différentes dégradations : Fissuration, orniérage, uni longitudinal et arrachements. De ces quatre dégradations, les trois dernières tendent à se développer progressivement avec du temps. En effet, l'orniérage de la chaussée, par exemple, commence, théoriquement, quand le premier camion passe au-dessus de la section de route et s'accumule avec chaque passage suivant. Pour la fissuration, la situation est tout à fait différente. La première occurrence de cette dégradation peut seulement apparaître quand la chaussée a été en service pendant un certain nombre d'années. Dans cette phase de déclenchement de dégradation, la fissuration se produit d'abord au fond des couches inférieures. Avec le temps, les fissures de fatigue amorcées au dessous des couches liées propagent vers le haut, et par la suite, elles deviennent apparentes sur la surface de la chaussée. Seulement par dessus, qu'elles peuvent être observées lors des inspections.

De préférence, on voudrait se rendre compte des problèmes structuraux beaucoup plus tôt, pour empêcher la fissure d'atteindre la surface de la chaussée. Cette situation est unique pour la fissuration, les autres trois dégradations sont évidentes sur la surface de la chaussée dès leur début et, donc elles n'exigent pas un système de la détection précoce. Ce dernier est nécessaire pour la fissuration.

Compte tenu de cette situation, nous proposons un modèle de déclenchement de la fissuration et des modèles de propagation de dégradation pour tous les quatre étudiées. La figure 1 présente la forme générale du développement de la fissuration, avec son déclenchement et sa phase de propagation :

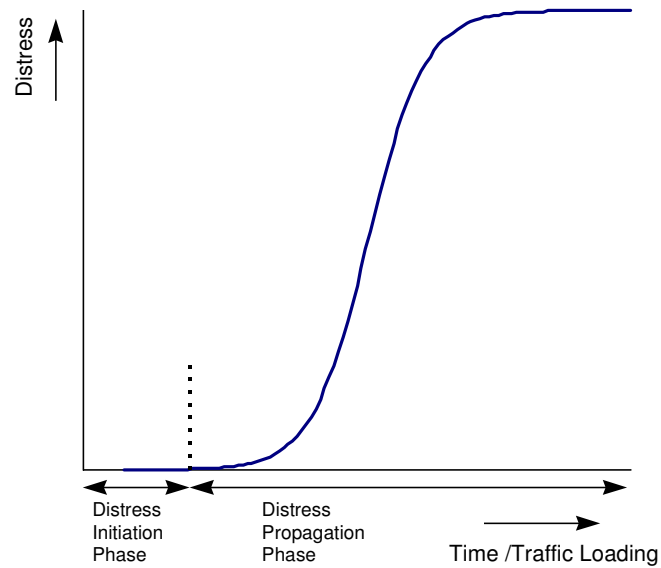


Figure 1 : Forme générale du développement de la fissuration

La forme générale du développement de la dégradation comme représentée sur le schéma 1, ci-dessus, montre que l'ampleur de la dégradation ne peut pas atteindre plus de 100% de toute la surface de la chaussée. En effet, la dégradation augmente normalement à un taux relativement lent au commencement, puis à un taux d'augmentation constant, et en fin, elle se stabilise vers la valeur asymptotique de 100%.

En outre, le développement de l'orniérage, exprimé en millimètres de profondeur d'ornière, n'est pas lié à un maximum. Théoriquement, la profondeur d'ornière peut continuer à augmenter jusqu'à ce que le trafic ne puisse plus circuler sur la section de la chaussée. Mais, le taux d'augmentation de l'orniérage peut être le plus haut dans le commencement et diminuer graduellement.

## 1 - Modèle de déclenchement de la fissuration

Pour modéliser le déclenchement de la fissuration, nous avons analysé les bases de données routières (1992-2004) et les sections de routes ont été scindées en trois grandes familles :

- Grave non traitée surmontée d'un enduit superficiel (GNT+RS),
- Grave non traitée surmontée d'une couche d'enrobé de plus 5cm (GNT+EB),
- Grave bitume surmontée d'une couche d'enrobé de plus de 5 cm (GB+EB).

Ces structures de chaussées représentent la quasi-totalité des structures du réseau routier marocain (35 000 Km).

L'analyse a été focalisée sur les sections de routes pour lesquelles, la date de construction et le trafic annuel durant toute la période d'analyse, sont disponibles dans les sept bases de données (1992 à 2004).

De cette façon, nous avons identifié la date de l'apparition des premières fissures sur la surface de la chaussée. Pour telles sections, le temps exact à la première fissuration serait alors connu et par conséquent la période de déclenchement de la fissuration serait connue. Les cumuls des essieux équivalents sont ainsi déterminés, parce qu'on sait les volumes des trafics annuels.

Les résultats de l'analyse ont prouvé que les variables explicatives les plus significatives pour le déclenchement de la fissuration des ces structures de chaussées étaient les valeurs de déflexion  $f$  et le trafic cumulé, exprimé en 130 KN EE (Essieux équivalents à 13T).

Le but recherché est de lier le trafic cumulé qui déclenche la fissuration à la capacité structurelle de la chaussée et son support : déflexion mesurée au déflectomètre (appareil utilisé déflectographe Lacroix). Cette modélisation trouve sa justification par le fait que l'on dispose des données importantes et précises des déflexions, et qu'elles traduisent la réponse des structures vis-à-vis des sollicitations. Une augmentation de déflexion implique forcément une chute des modules des assises des chaussées.

Il y a lieu de rappeler que la fissuration objet de cette étude concerne uniquement la fissuration de fatigue. Le modèle proposé est le suivant :

$$N_D = 10^\alpha$$

$N_D$  = Trafic cumulé à l'apparition des premières fissures.

$\alpha$  = paramètre du modèle, fonction de la valeur de la déflexion  $f$ .

Le calcul des trafics cumulés s'est basé sur les résultats de l'étude réalisée par le CNER en 2001, pour la détermination des agressivités des trafics routiers à l'échelle nationale. Le tableau 2, suivant, présente les valeurs d'agressivité par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes, par niveau de trafic et par charge du poids lourd à considérer :

<b>Poids lourds</b>	<b>TMJA&gt; 3000V/j</b>	<b>1500V/j &lt;TMJA&lt; 3000V/j</b>	<b>TMJA&lt; 1500V/j</b>
PTC>1,5T	0.189	0.174	0.111
PTC>3,5T	0.352	0.6	0.302
PTC>8T	0.571	1.1	0.308

Tableau 2 : Agressivité des trafics routiers (essieu de référence de 13T)

$\alpha$  est une fonction linéaire de  $f$

$$\alpha = A + B.f$$

A et B paramètres du modèle.

Après plusieurs simulations sur les sections sélectionnées représentatives du réseau routier, il s'est avéré que la déflexion au déclenchement de la fissuration, doit avoir une valeur minimale de 50 (1/00) millimètres

Les paramètres A et B du modèle ainsi trouvés sont :

$$\begin{cases} A = 7.273 \\ B = -0.013 \end{cases}$$

## 2 - Modèle de propagation des fissures :

Pour la fissuration dans la trace des roues (fissures longitudinales), l'analyse des données avait prouvé que la forme linéaire est la plus appropriée pour décrire la propagation des fissures. Le nombre d'essieux équivalents et l'âge de la chaussée ont été identifiés comme variables explicatives pour ce modèle.

L'équation du modèle est :

$$I_f = A + B.x$$

où

$I_f$  : le pourcentage de la surface fissurée,

$A, B$  : paramètres du modèle,

$x$  : l'âge de la chaussée (années) ou le trafic cumulé en essieu de référence.

Le paramètre B qui doit refléter le gradient de la propagation de la fissuration et l'évolution annuelle de l'indice de fissuration.

$$B = 2.32 + 1.31. \frac{I_{f_{last}}}{Ag_{last}}$$

$$(R^2 = 0.85)$$

où

$I_{f_{last}}$  = Taux de fissuration à la dernière inspection,

$Ag_{last}$  = âge de la chaussée à la dernière inspection (années).

De même, il a été jugé utile de déterminer une relation entre le paramètre B et le trafic cumulé. Une analyse linéaire de régression a été utilisée.

$$\log B = 0.29 + 0.96 \log \frac{I_{flast}}{N_{Dlast}}$$

$$R^2 = 0.95$$

où

$N_{Dlast}$  = Trafic cumulé équivalent exprimé en  $10^6$  essieux de 130 KN à la dernière inspection.

### 3 . Modèle d'évolution de l'orniérage

Dans les bases de données routières de 1992 à 2004, les informations relatives à l'orniérage ne sont pas disponibles. Mais, nous avons analysé les mesures effectuées à l'aide de l'appareil de mesure des profils en travers (TUS), sur plusieurs chantiers.

Puisque l'orniérage ne concerne, théoriquement, que les couches de surface en enrobé bitumineuse, une analyse transversale, a été adoptée. Elle consiste à considérer que toutes les chaussées dont la couche supérieure d'enrobé plus de 5 cm, se comportent à l'orniérage de la même façon. De ce fait, les mesures des profondeurs des ornières consistent une seule population de données à traiter.

Les données analysées sur plus de 8 sections à différentes classes de trafic, sont présentées sur la figure 4 qui montre la comparaison entre le modèle « forme puissance » et le modèle linéaire.

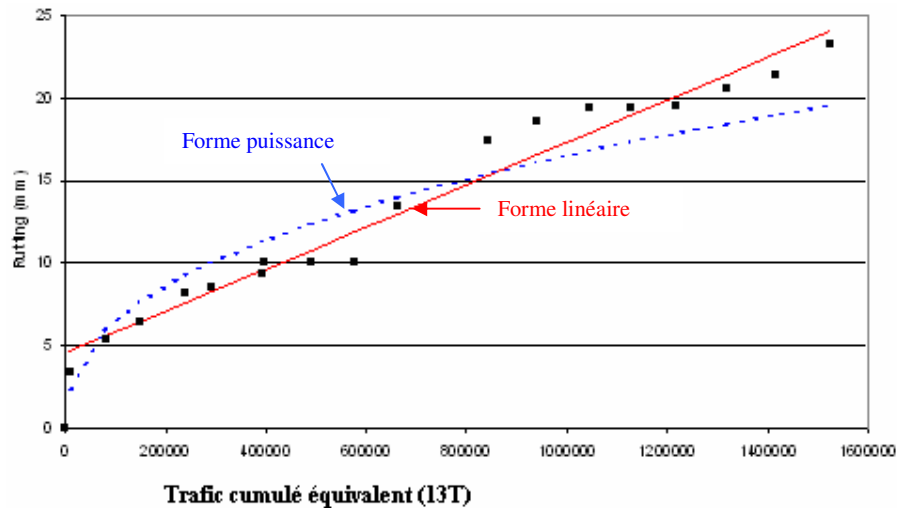


Figure 4 : Modèles d'évolution de l'orniérage.

On constate que le modèle linéaire présente une corrélation meilleure que le modèle « puissance ». Le modèle linéaire s'écrit sous la forme :

$$Rd = A + B.x$$

où

$Rd$  = profondeur de l'ornièrre en mm,

$A$  = paramètre du modèle,

$B$  = paramètre du modèle qui décrit le taux d'augmentation de l'ornièrage,

$x$  = âge de la chaussée (années).

Le paramètre  $B$  est en relation avec l'âge de la chaussée et la profondeur de l'ornièrre à la date de mesure.

$$B = -0.07 + 1.09 \cdot \frac{Rd_{last}}{Ag_{last}}$$

$$R^2 = 0.81$$

$Rd_{last}$  = profondeur de l'ornièrre en mm à la dernière inspection.

$Ag_{last}$  = âge de la chaussée à la dernière inspection.

En fonction du trafic cumulé équivalent, le paramètre  $B$  peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\log B = 0.04 + 0.90 \log \frac{Rd_f}{N_{Dlast}}$$

$$R^2 = 0.88$$

avec  $N_{Dlast}$  = Trafic cumulé équivalent exprimé en  $10^6$  essieux de 130 KN à la dernière inspection.

#### **4 - Modèle d'évolution de l'uni longitudinal**

Les mesures de l'uni longitudinal de la chaussée sont disponibles dans toutes les bases de données de 1992 à 2004. Le paramètre caractérisant l'état de l'uni est l'indice international de rugosité (IRI), exprimé en mm/m. La forme fonctionnelle du modèle pour la propagation d'IRI a été étudiée en examinant une série chronologique des données d'IRI pour chaque section individuelle. Cet examen a prouvé que pour la propagation d'IRI un modèle linéaire est, également, satisfaisant. Le graphe suivant présente le modèle établi pour les chaussées en grave non traitée.

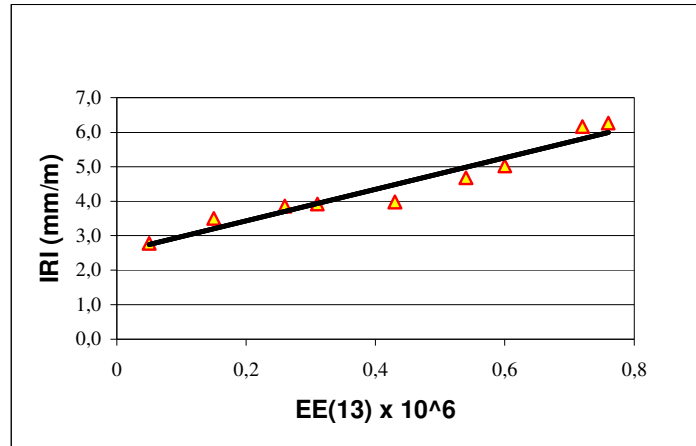


Figure 5 : Modèle d'évolution de l'uni pour les chaussées en GNT.

L'équation linéaire qui régit le modèle est la suivante :

$$Y = 0.4173X + 2.377$$

avec

Y = IRI (mm/m)

X : le trafic cumulé équivalent à l'essieu de 13 T ( $10^6 \cdot 130\text{KN}$ ).

## 5 - Modèle d'évolution des arrachements

Pour la détermination des modèles de propagation des arrachements, nous avons étudié deux formes de modèles, qui ont été choisies sur la base de l'expertise, régies par les équations suivantes :

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{U} + A \cdot B^X} \quad (\text{Modèle 1})$$

$$Y = A + B \cdot X \quad (\text{Modèle 2})$$

où :

Y = % total des arrachements,

X = âge de la dernière couche de roulement,

A, B = paramètres du modèle,

U = limite supérieure (100%).

Le modèle 1 a l'avantage est de se conformer au fait que l'ampleur des arrachements est liée à un maximum de 100%. Mais, le modèle linéaire est simple. L'analyse de régression a rapporté des valeurs pour les paramètres A et B pour les deux modèles. Le paramètre de B était encore le paramètre le plus approprié, puisqu'il exprime le taux d'augmentation de la dégradation.

$$B = 1.22 + 0.82 \cdot \frac{Ar_{last}}{Ag_{last}}$$

$$R^2 = 0.77$$

$Ar_{last}$  = % d'arrachement à la dernière inspection.

$Ag_{last}$  = âge de la chaussée à la dernière inspection.

### **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES :**

Les modèles de dégradation des chaussées marocaines élaborés, à partir des données de l'auscultation systématique durant la période de 1992 à 2004, tiennent compte de l'ensemble des paramètres qui gouvernent l'évolution des dégradations. Les équations de ces modèles ont été développées à partir des données de l'observation réelle sur l'ensemble du réseau routier qui constitue un linéaire de 35 000 Km en 2004.

Les modèles élaborés concernent les dégradations les plus rencontrées sur les chaussées, qui sont la fissuration, l'orniérage, la déformation (uni) et les arrachements. La modélisation prend en considération la particularité de chaque type de dégradation, par exemple, le plus important pour la fissuration, est de prédire le moment où la fissuration va se déclencher avant qu'elle apparaisse en surface ; mais, pour les autres dégradations, les déclenchements commencent dès la mise en circulation de la chaussée, et donc, les modèles de propagation sont de grande importance. Les modèles mis au point sont, dans le plupart des cas, de forme linéaire, et leurs équations sont de bonne corrélation statistique.

Ainsi, l'évolution de l'état structurel des chaussées sous l'effet du trafic a montré que le déclenchement de la fissuration à la base des assises traitées se manifeste, généralement, par une chute de portance (évaluée par le paramètre déflexion sous l'essieu de 13T). Le modèle élaboré, en conséquence, permet d'estimer le cumul des trafics qui déclenche le processus de fissuration

En conséquence, les modèles de l'évolution de dégradation des chaussées à partir du comportement réel des chaussées, dans le cadre de ce travail, vont servir, comme éléments de base pour entamer une étude d'amélioration des méthodes de conception et de calcul des chaussées au Maroc.



## Références bibliographiques et documentaires

- [1] Fichier de la base de données routières 1992 – CNER.
- [2] Fichier de la base de données routières 1994 – CNER.
- [3] Fichier de la base de données routières 1996 – CNER.
- [4] Fichier de base de données routières 1998 – CNER.
- [5] Fichier de la base de données routières 2000 – CNER.
- [6] Fichier de la base de données routières 2002 – CNER.
- [7] Fichier de la base de données routières 2004 – CNER.
- [8] Rapport du relevé visuel 2004- CNER.
- [9] Rapport de recherche : Détermination de l'agressivité des trafics routiers 2001-CNER.
- [10] Rapport de recherche : « Road Maintenance session : PARIS Project » Commission Européenne -2004.
- [11] Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, n°250-251-2004- LCPC.
- [12] L'emploi des statistiques : Jacques Bonizter 1983- Edition de l'ENPC.